右腹外侧前额叶对高抑郁水平成年人社会情绪调节的作用：一项 tDCS 研究[1*]

张丹丹[1,2,3]　刘珍莉[1]　陈　钰[1]　买晓琴[2,3]

([1]深圳大学心理与社会学院，深圳 518060)

([2]中国人民大学心理学系，[3]中国人民大学心理学系实验室，北京 100872)

摘　要　已有的经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)研究证明，右腹外侧前额叶(right ventrolateral prefrontal cortex, RVLPFC)是社会情绪调节的重要脑区，激活 RVLPFC 可显著降低人们对社会性负性情绪体验的强度。社会功能受损是抑郁症患者或抑郁倾向人群的重要特征之一。该群体对社会排斥的敏感性高，且对负性社会情绪体验的情绪调节能力降低。在本研究中，我们采用外显的情绪调节任务，研究了高、低抑郁水平的两组成年人被试在 RVLPFC 接受阳性 tDCS 后其情绪调节能力的改变。结果表明，虽然采用 tDCS 激活 RVLPFC 可帮助被试通过情绪调节(认知重评)减弱负性情绪体验，但高抑郁水平被试的负性情绪强度下降程度明显小于低抑郁水平被试。另外本文还发现，与源于个人的负性情绪相比，tDCS 效应对源于社会的负性情绪(即社会排斥)更强。本研究是采用电或磁刺激提高抑郁人群社会情绪调节能力的首次尝试。实验结果表明，高抑郁水平成年人的 RVLPFC 仅通过单次、短时间(34 min)的 tDCS 激活，其情绪调节能力并未得到显著提升。这提示对抑郁倾向群体或抑郁症患者的干预或治疗需要多次施加 tDCS。

关键词　抑郁倾向；经颅直流电刺激；右腹外侧前额叶；社会排斥；负性情绪

分类号　B845; R395

1　引言

抑郁是一个全球性的重要公共健康问题。人际交往和社会功能受损是抑郁症的重要特征(Henriques & Davidson, 2000; Kupferberg, Bicks, & Hasler, 2016)。与健康对照相比，抑郁症患者在社会交往中体验到的快乐程度较低(社交快感缺失)，他们参与社会活动的动机更小、频率更低(Hammen, 2005)。加强对抑郁症及抑郁倾向人群社会功能障碍脑机制的研究，并用以指导抑郁症的防治，预防心理和行为问题的发生，对提高全民健康水平具有重要意义。

社会排斥(social exclusion; 也称为社会疼痛(social pain)) 是个体(或某一个群体)被系统地剥夺了使之可以融入社会的权利、机会以及资源。社会排斥现象经常出现在我们的日常生活中，并成为媒体关注的焦点，例如：就业歧视、住房困难、校园欺凌等。社会排斥是一种典型的负性社交体验，它导致被排斥者的自尊心降低(Onoda et al., 2010)，对人的基本需要(如归属的需要和控制的需要)构成强烈威胁(Baumeister & Leary, 1995; Williams, 2007)。遭受社会排斥的个体会产生负性情绪体验和受伤感受(Eisenberger, Lieberman, & Williams, 2003)，这种社会疼痛会引起类似于生理疼痛的心理反应(Riva, Wirth, & Williams, 2011)。研究指出，个体体验到的社会疼痛程度与其心理健康状态有关。抑郁个体的社会疼痛阈限降低，因此对社会排斥更加敏感(MacDonald, Kingsury, & Shaw, 2005)。针对社会排斥所引发的负性情绪体

收稿日期：2018-08-01

* 中国人民大学中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项资金支持。

通讯作者：张丹丹, E-mail: zhangdd05@gmail.com；买晓琴, E-mail: maixq@ruc.edu.cn

验，情绪调节是一种有效的应对策略。而抑郁症和自闭症谱系障碍患者的一个核心特征即为情绪失调(Mazefsky et al., 2013; Rive et al., 2013; Samson et al., 2014)。我们认为，提高抑郁症患者或抑郁倾向个体在面对社会排斥等负性社交情境时的情绪调节能力，可能是改善他们社会功能障碍的有效手段。本文拟采用经颅直流电刺激技术(transcranial direct current stimulation, tDCS)，考察高抑郁倾向的大学生被试在社会情绪调节脑区接受电激活后，其情绪调节能力是否有所提高。

大量的元分析和神经影像学研究表明，背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)和腹外侧前额叶皮层(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)均为情绪调节的核心区域(Buhle et al., 2014; Kohn et al., 2014)，尤其是在负性情绪的下调(down-regulation)方面(Zilverstand, Parvaz, & Goldstein, 2017)。在一般情绪调节任务中(即情绪源自个人的主客观因素)，抑郁症患者 DLPFC 和腹侧纹状体(主要是伏隔核)以及前扣带皮层激活异常(Donofry, Roecklein, Wildes, Miller, & Erickson, 2016)。在下调负性情绪体验时，抑郁症患者的外侧前额叶的激活比健康对照更弱(Rive et al., 2013)。在调节社会排斥引起的负性情绪时，腹侧扣带回皮层(ventral anterior cingulate cortex, VACC)和 VLPFC 是最核心的两个脑区(Riva & Eck, 2016)。目前的实验研究对 VACC 在社会排斥情绪调节过程中的神经反应尚未得到一致的结果：一些研究发现对社交负性情绪进行调节会伴随 VACC 的激活增强(Cristofori et al., 2013)，而另一些研究则报告社会情绪调节伴随 VACC 激活减弱或没有变化(Somerville, Heatherton, & Kelley, 2006)。与 VACC 的不一致研究结果不同，目前的神经影像学证据一致性地表明，VLPFC (特别是右侧的 VLPFC，即 RVLPFC)在个体体验到社会排斥后激活显著增强(Eisenberger et al., 2003; Onoda, et al., 2010)。社会排斥情境下 RVLPFC 的激活程度与自我报告的疼痛强度呈负相关，提示该脑区在减少社会疼痛方面起着关键作用(Eisenberger et al., 2003; Masten et al., 2009)。另外，对社会排斥反应的个体差异研究发现，对他人信任或自信程度较高的人在社会排斥任务中报告的社会疼痛体验较少，而这种负相关则是由 RVLPFC 的激活水平介导的(Yanagisawa et al., 2011)。此外还发现，排斥敏感性较高的人在遭受社会排斥时其 RVLPFC 的激活水平相对于排斥敏感性较低的人更低(Kross, Egner, Ochsner, Hirsch, & Downey, 2007)。

综上所述，RVLPFC 是社会情绪调节的核心脑区。基于此，Riva 等人(2012, 2015a, 2015b)采用 tDCS 证明了 RVLPFC 对降低由社会排斥诱发的负性情绪反应(如社会疼痛和社会性攻击)具有因果作用。然而 Riva 等人的系列研究并未要求被试完成任何情绪调节任务，即他们仅考察了 RVLPFC 在内隐情绪调节中的作用。作为 Riva 等人(2012, 2015a, 2015b)的后续研究，我们课题组的前一项实验(He et al., 2018)采用了外显性的情绪调节任务，进一步明确了 RVLPFC 在情绪调节方面的作用，即激活该脑区能提高社会情绪调节的能力，降低负性情绪体验强度。由于其无创新、安全性以及高舒适性(与经颅磁刺激相比)，tDCS 目前被越来越多的应用于临床抑郁症患者的治疗(Sellar, Nitsche, & Colzato, 2016)。作为 He et al. (2018)的后续实验，本研究的主要目的是探索采用 tDCS 激活 RVLPFC 是否能提高抑郁倾向个体的情绪调节能力，即考察该 tDCS 效应是否在高低抑郁水平被试之间存在差异。此外，本研究在社会情绪调节的基础上，还添加了“个人情绪调节”条件，即要求被试在不同的 block 中分别调节源自社交的负性情绪和源自个人的负性情绪。通过比较此两种条件下的 tDCS 效应，本实验可以揭示 RVLPFC 对社会情绪调节的特异性，即社会情绪调节比“个人情绪调节”更依赖该脑区。

2　方法

2.1　被试

本研究的被试来自深圳大学的本科生及研究生。采用贝克抑郁问卷(Beck, Steer, &

Brown, 1996)筛选被试。该问卷包括 21 项评估过去两周抑郁症状的项目，分数从 0 到 63，高分表示高抑郁倾向。本研究仅邀请分数$\le$ 2(低抑郁倾向组)以及分数$\ge$ 18(高抑郁倾向组)的志愿者参与实验。

正式实验在贝克抑郁问卷筛查后的一周内进行。实验前所有被试填写抑郁自评量表(Self-Rating Depression Scale, SDS; Zung, Richards, & Short, 1965)和斯皮尔伯格特质焦虑量表(The Trait form of Spielberger's State-Trait Anxiety Inventory, STAI-T; Spielberger, Gorsuch, Lushene, Vagg, & Jacobs, 1983)。考虑到情绪调节能力还会受到焦虑的影响 (Amstadter, 2008; Cisler & Olatunji, 2012)，本研究仅选取中等特质焦虑水平的被试进行实验，以排除焦虑因素对结果的影响。根据 Zung 等人(1965)提出的 SDS 常模，即 SDS 在 0.5 以下提示无抑郁，0.50 以上提示轻、中、重度抑郁，本文按照 SDS 分数将被试分为两组：SDS < 0.5 为低抑郁倾向组($n = 51$), SDS ≥ 0.5 为高抑郁倾向组($n = 47$)。四组被试在年龄、性别和 STAI-T 评分方面均无显著差异(表 1)。经方差检验(自变量为 2×2 的被试间变量), SDS 得分表现出了“组别”主效应, $F(1, 94) = 74.13$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.441$；高抑郁倾向组的 SDS 得分(0.56 ± 0.09)显著高于低抑郁倾向组(0.44 ± 0.05)。四组被试的年龄无显著差异, $F(1, 94) = 0.02 \sim 2.01$, $p = 0.162 \sim 0.916$, $\eta^2_p = 0.021 \sim 0.000$。控制各组被试的 STAI-T 得分，使之在四组之间无显著差异, $F(1, 94) = 0.63 \sim 1.47$, $p = 0.241 \sim 0.454$, $\eta^2_p = 0.006 \sim 0.015$。被试均无癫痫、脑外伤等病史，视力或矫正视力正常。所有被试均为右利手。实验中将高低抑郁倾向被试随机分配至 tDCS 真刺激组和伪刺激组，共有 50 人(高抑郁倾向组 25 人，低抑郁倾向组 25 人)接受了 tDCS 阳性刺激。本实验方案经深圳大学医学院伦理委员会批准。实验前被试签署了知情同意书。

表 1　本研究四组被试的人口学特征(均值±标准差)

变量	低抑郁倾向 tDCS 阳性刺激 ($n = 25$)	高抑郁倾向 tDCS 阳性刺激 ($n = 25$)	低抑郁倾向 tDCS 伪刺激 ($n = 26$)	高抑郁倾向 tDCS 伪刺激 ($n = 22$)
年龄	20.73 ± 2.47	21.73 ± 3.65	21.55 ± 3.22	20.89 ± 2.21
性别，男/女	13/13	13/11	13/12	12/11
SDS	0.45 ± 0.04	0.57 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.54 ± 0.09
STAI-T	41.82 ± 6.67	41.81 ± 4.62	40.88 ± 6.09	42.23 ± 3.65

2.2　实验设计及材料

参考 Elliott 等人(2012)的研究，本实验包含四个变量。被试内变量为“图片类型” (个体负性图片/社会排斥图片)和“任务” (被动观看/认知重评)，被试间变量为“组别” (高抑郁倾向/低抑郁倾向)和“tDCS 类型” (阳性刺激/伪刺激)。

社会排斥图片和个体负性图片各 60 张(图 1A)。每张社会排斥图片包含一个被排斥者和一群排斥者(至少三人)。每张个体负性图片仅含一个人。社会排斥图片与前一项研究(He et al., 2018)相同，个体负性图片选自国际情绪图片库(Lang, Bradley, & Cuthbert, 1995)以及中国情绪图片库(白露，马慧，黄宇霞，罗跃嘉, 2005)，主要反映个体的悲伤情绪。本研究中的 120 张图片经过了 20 名健康成年人的评定(1~9 点评分)，评定人从深圳大学本科生及研究生中招募，不同于参加正式实验的被试。评定结果显示，个体负性图片与社会排斥图片在“情绪效价” ($t(19) = -1.33$, $p = 0.215$；个体 = 2.76 ± 0.81，社会 = 2.53 ± 0.72)以及“唤醒度” ($t(19) = 1.43$, $p = 0.187$；个体 = 3.42 ± 1.67，社会 = 3.79 ± 2.01)两个维度均不存在显著差异。实验匹配了图片的亮度和对比度，图片呈现在液晶显示器的正中，视角为 3.0×3.5°。

2.3 tDCS 设置参数

tDCS (Brainstim; EMS, Bologna, Italy)的设置参数与前项研究(He et al., 2018)保持一致。tDCS 的电极片尺寸为 5×5 cm^2，阳极置于 F6 (Cai et al., 2016; He et al., 2018; Riva., et al, 2015b)，阴极电极置于 Fp1 (Feeser, Prehn, Kazzer, Mungee, & Bajbouj, 2014; He et al., 2018; Miranda, Lomarev, & Hallett, 2006; Riva., et al, 2015b)。本研究的电流强度设置为 2.5 mA (即 0.1 mA/cm^2)，该电流强度已被证明对健康成年人无伤害(Cogiamanian et al., 2011; He, et al., 2018; Koenigs, Ukueberuwa, Campion, Grafman, & Wassermann, 2009)。从正式实验任务开始前 4 min 进行 tDCS 激活，其中“真刺激组”的 tDCS 放电持续至实验结束(共 34 min)，“伪刺激组”的放电时间仅为 30 s。30 s 的电流刺激会造成与“真刺激组”相似的头皮瘙痒感，但不对正式任务中的神经活动产生影响(Feeser et al., 2014; Riva et al., 2015b)。参与实验的所有 98 名被试在刺激开始时均报告头皮瘙痒，但无其他不良反应，所有被试都认为他们在整个任务期间接受了电刺激。

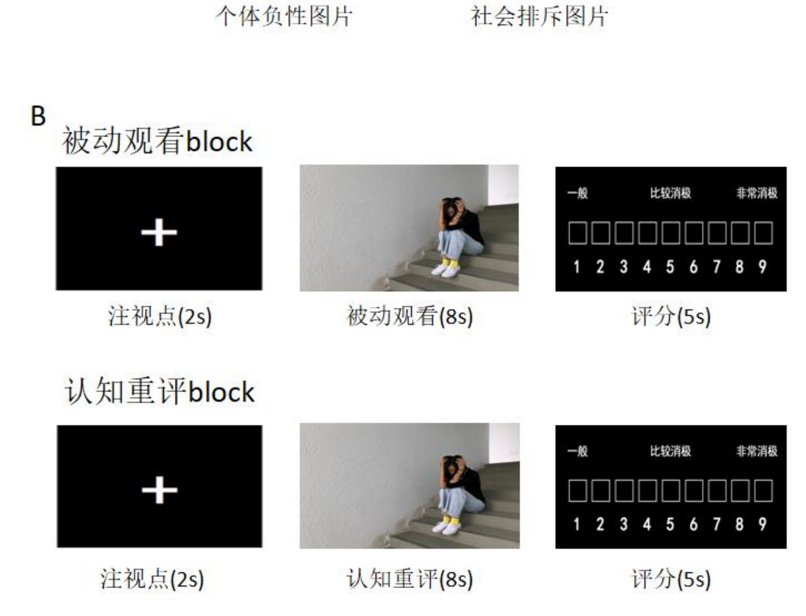


图 1 实验流程示意图。A，实验材料示例。B，单个试次中刺激的呈现(以个体负性图片为例)。

2.4 实验过程

实验前被试需填写 SDS 和 STAI-T 以及知情同意书。

实验分为四个 block，分别对应四个被试内条件，每个 block 包含 30 个试次。为了避免情绪调节任务对被动观看任务的影响，实验中被试先进行被动观看任务，然后再进行认知重评任务(He et al., 2018)。两个任务中均包含一个“社会图片”block 和一个“个体图片”block，“社会”和“个体”两个 block 的顺序在被试间平衡。

四个 block 的指导语分别如下。被动观看个体负性图片：“在这部分实验中，想象你是图片里的主人公，观看图片后请对你的消极情绪程度进行评分”。被动观看社会排斥图片：“在这部分实验中，想象你是图片里的那个独处的个体，观看图片后请对你的消极情绪程度进行评分”。观看个体负性图片并进行情绪调节：“在这部分实验中，仍然想象你是图片里的主人

公，请努力使自己的情绪不那么负性。例如，你可以想象，那些令你伤心的事情实际上并没有那么糟糕，通过你的努力它们可以得到明显的改观。之后请对你的消极情绪程度进行评分”。观看社会排斥图片并进行情绪调节：“在这部分实验中，仍然想象你是图片里那个独处的个体，请努力使自己的情绪不那么负性。例如，你可以想象图片中的那群人并不是在批评你，他们或许在讨论你的优点或是一些你不感兴趣的话题。之后请对你的消极情绪程度进行评分”。

实验的每个试次持续 15 s。如图 1B 所示，每个试次开始于 2 s 的中央注视点，之后是 8 s 的图片呈现，此间要求被试被动地观看或按指示通过认知重评策略来调节他们的情绪。最后，被试需对自己的消极情绪程度进行评分 1~9 点的评定(最长反应时 5 s)，分数越高表示负性情绪程度越高。情绪评定通过鼠标单击数字上方的方块完成。

2.5 统计

统计分析采用 SPSS Statistics 20.0 (IBM, Somers, USA)。除非有特别说明，描述性统计量表示为“均值±标准差”。对变量进行多因素重复测量方差分析，被试内因素为图片类型和任务，被试间因素为组别和 tDCS 类型。显著性水平为 $p < 0.05$。

3 结果

四因素的重复测量方差分析发现了三个显著的主效应。首先，任务的主效应显著，$F(1, 94) = 35.94$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.276$；情绪调节(认知重评)任务下的负性情绪强度(5.17 ± 1.24)显著低于被动观看任务(5.70 ± 0.98)，该结果证明了本实验中外显情绪调节指导语的有效性。其次，组别的主效应显著，$F(1, 94) = 7.75$, $p = 0.006$, $\eta^2_p = 0.076$；低抑郁倾向组的负性情绪强度(5.24 ± 1.25)显著低于高抑郁倾向组(5.63 ± 0.99)。再次，刺激的主效应显著，$F(1, 94) = 14.74$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.135$；阳性刺激组的负性情绪强度(5.17 ± 1.24)显著低于伪刺激组(5.70 ± 0.97)。

更重要的是，方差分析发现了两个三重交互。首先，组别、刺激类型与任务之间存在显著的三重交互作用，$F(1, 94) = 4.43$, $p = 0.038$, $\eta^2_p = 0.045$ (图 2A)。简单简单效应分析表明，低抑郁倾向组被试在 tDCS 阳性刺激条件下的任务效应最显著，即在情绪调节任务下被试报告的负性情绪强度(3.93 ± 1.10)显著低于被动观看任务(5.52 ± 0.92; $F(1, 94) = 81.07$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.463$)，而该任务效应在高抑郁倾向组中不显著(tDCS 阳极刺激：$F(1, 94) = 2.20$, $p = 0.140$, $\eta^2_p = 0.023$; tDCS 伪刺激：$F < 1$)，在低抑郁倾向组的 tDCS 伪刺激条件下显著性较低($F(1, 94) = 6.20$, $p = 0.015$, $\eta^2_p = 0.062$)。其次，图片类型、刺激类型与任务之间存在显著的三重交互作用，$F(1, 94) = 5.03$, $p = 0.027$, $\eta^2_p = 0.051$ (图 2B)。简单简单效应分析表明，在 tDCS 阳性刺激条件下且被试观看社会排斥图片时任务效应最显著，即在情绪调节任务下被试报告的负性情绪强度(4.39 ± 1.34)显著低于被动观看任务(5.88 ± 1.02; $F(1, 96) = 77.8$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.501$)，而该任务效应在 tDCS 伪刺激组观看个体图片时不显著($F < 1$)，在 tDCS 伪刺激组观看社会排斥图片时显著性较低($F(1, 96) = 8.24$, $p = 0.005$, $\eta^2_p = 0.084$)，在 tDCS 阳极刺激组观看个体图片时显著性较低($F(1, 96) = 5.43$, $p = 0.022$, $\eta^2_p = 0.068$)。

此外，方差分析还发现了四个二重交互。首先，组别和任务之间的二重交互作用显著($F(1, 94) = 28.37$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.231$)，低抑郁倾向组在认知重评任务下的负性情绪强度(4.74 ± 1.30)显著低于被动观看任务下的强度(5.75 ± 0.97; $F(1, 96) = 52.9$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.076$)；此任务效应在高抑郁倾向组中不显著($F < 1$；重评= 5.60 ± 1.00，观看= 5.66 ± 0.99)。其次，刺激和任务之间的二重交互显著($F(1, 94) = 19.24$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.169$), tDCS 阳性刺激组被试在认知重评任务下的负性情绪强度(4.71 ± 1.28)显著低于被动观看任务下的强度(5.64 ± 1.01; $F(1, 96) = 41.59$, $p < 0.001$)；此差异在 tDCS 伪刺激组中不显著($F(1, 96) = 1.31$, p

= 0.255; 重评= 5.63 ± 1.00, 观看= 5.77 ± 0.94)。再次, 图片类型和任务之间的二重交互作用显著($F(1, 94) = 65.05$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.409$), 任务效应在被试观看社会排斥图片时显著($F(1, 94) = 78.92$, $p < 0.001$; 重评 = 4.96 ± 1.29; 被动观看 = 5.94 ± 0.96), 而观看个体图片时不显著($F < 1$; 重评 = 5.38 ± 1.14; 被动观看 = 5.47 ± 0.95)。最后, 组别和刺激之间的二重交互作用显著($F(1, 94) = 13.87$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.128$), tDCS 效应仅存在于低抑郁倾向组($F(1, 95) = 14.10$, $p < 0.001$; 阳性刺激 = 4.72 ± 1.28; 伪刺激 = 5.76 ± 0.98), 在高抑郁倾向组中效应不显著($F < 1$; 阳性刺激= 5.62 ± 1.02; 伪刺激= 5.64 ± 0.96)。

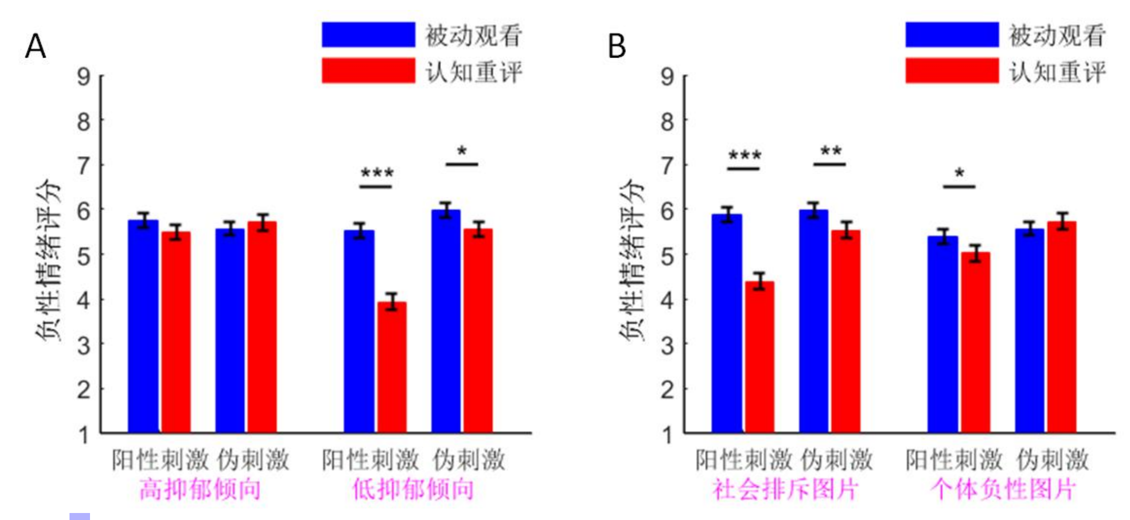


图 2 负性情绪强度评定结果。A, 任务、组别和 tDCS 类型的三重交互作用。B, 任务、图片类型和 tDCS 类型的三重交互作用。图中的误差条(error bar)表示标准误。*$p < 0.05$, **$p < 0.01$, ***$p < 0.001$。

4 讨论

tDCS 不但是考察大脑功能的利器(Filmer, Dux, & Mattingley, 2014), 近年也越来越多的应用到抑郁症患者的治疗中(Sellar et al., 2016)。本文采用该技术研究了高低抑郁水平成年人在外显情绪调节任务中其 RVLPFC 脑区与负性情绪调节功能之间的因果关系。实验的主要发现有两点。第一, 低抑郁水平被试如果在接受 tDCS 阳极刺激的同时进行情绪调节, 其体验到的负性情绪强度显著降低, 但高抑郁水平被试则不然。这说明低抑郁水平个体的 RVLPFC 被 tDCS 激活后其情绪调节能力显著提高。该结果验证了我们前项研究得出的结论(He et al., 2018), 即 RVLPFC 是情绪调节的核心脑区。与低抑郁水平个体相比, 高抑郁水平个体的生理和心理疼痛阈限较低(MacDonald, & Leary, 2005), 在同样的负性情境中(源于个人或源于社会), 采用单次、短时间的 tDCS 干预可能起不到明显的降低其负性情绪体验的效果。此前的研究利用眼动追踪技术发现, 健康成年被试可以通过情绪调节(认知重评策略)降低其体验到的负性情绪强度, 负性情绪的成功下调伴随着自我关注的增强, 即被试目光停留在图片主人公区域(独处的个体)的时间延长(He, et al., 2018)。根据贝克的抑郁认知模型(Beck & Bredemeier, 2016), 抑郁伴随着自我消极认知图式的形成, 高抑郁水平个体自我评价降低、消极期望增多, 他们看待事情总会想到最糟糕的一面, 认为现在的糟糕状况会一直持续下去。在本实验中, 负性事件(观看两种类型的负性图片并想象自己身临其境)在具有自我消极认知图式的高抑郁倾向个体中诱发了过多的自责和自我批评, 通过 34 min 的 tDCS 干预并未明显改善这组被试的情绪调节能力。此前有综述已指出, tDCS 的效应非常微弱, 单次(Horvath, Forte, & Carter, 2015)甚至五次(five sessions) tDCS 治疗所带来的认知功能改变都很难显著(Aparício et al., 2016)。本文基于高抑郁水平被试的结果提示, 针对 RVLPFC 靶点的 tDCS 治

疗，必须采用多次重复刺激才有可能改善抑郁症患者的情绪调节能力。

第二，采用 tDCS 激活 RVLPFC 时，被试通过情绪调节(认知重评策略)可以显著减弱由社会排斥引发的负性情绪体验，但此情绪调节效应对于由个体负性情境引发的负性情绪调节效果稍弱。这一结果提示，VLPFC 不仅是一般性情绪调节的重要脑区(Buhle et al., 2014; Kohn et al., 2014)，它还对社会排斥等社会负性情境的情绪调节具有特异性。先前的脑成像实验发现，被试在社会排斥情境下其大脑的 RVLPFC 和背侧扣带回(dorsal anterior cingulate cortex, dACC)均明显激活(Eisenberger et al., 2003)。我们推测 VLPFC 可能是通过调节 dACC 的活动水平以降低个体的社会疼痛体验。本文通过 tDCS 激活 RVLPFC 以增强该脑区对 dACC 的调节作用，因此被试(与伪刺激组相比)报告了更低的负性情绪强度。我们建议后续研究同时考虑 VLPFC 和 dACC 两个 tDCS 靶点，或将 tDCS 与脑成像技术结合起来进一步考察社会排斥情绪调节的脑机制(Riva et al., 2015a)。此前已有一些研究者采用 tDCS 激活 RVLPFC 以治疗自闭症谱系障碍的情绪失调，改善患者前额叶的情绪控制功能(Scarpa & Reyes, 2011; Pitskel, Bolling, Kaiser, Pelphrey, & Crowley, 2014)。本实验的贡献在于，我们增加了个体负性图片条件，并通过对个体负性图片和社会负性图片的直接比较，在前人研究(Eisenberger et al., 2003; Masten et al., 2009; Onoda et al., 2010; Riva et al., 2012; 2015a; 2015b; Yanagisawa et al, 2011)的基础上证明了 RVLPFC 对社会情绪调节具有特异性。此结果提示 RVLPFC 可能是治疗社会排斥情绪调节障碍的最直接靶点，采用 tDCS 激活该脑区有望显著提高社会功能障碍患者(如抑郁症、社交焦虑症、自闭症谱系障碍)的情绪调节能力，改善他们的社会功能(Rive et al., 2013; Kupferberg et al., 2016)。

稍显遗憾的是，本研究并未发现组别、任务、tDCS 刺激类型和图片类型之间的四重交互作用(本文的四重交互效应：$F(1, 94) = 2.23$, $p = 0.139$, $\eta^2_p = 0.023$)。我们预期四重交互的理由是，与低抑郁水平被试相比，高抑郁水平被试具有较高的拒绝敏感性和较低的社会疼痛阈限(MacDonald, & Leary, 2005)，他们倾向于从别人的言论中解读出侮辱、嘲笑和轻蔑(Beck & Alford, 2009)。因此在社会排斥条件下高抑郁水平被试的 tDCS 效应可能比在个人负性情绪条件下更弱。本文没有得到四重交互的原因可能是样本量过小(四组共含 98 名被试)，因为近期的一项关于 tDCS 效应的元分析指出，要想在抑郁群体中获得稳定的 tDCS 治疗效果，建议每组被试量不少于 49 名(Meron, Hedger, Garner, & Baldwin, 2015)。因此我们建议后续相关研究增加每组被试的样本量。另外，本研究仅考察了抑郁倾向被试，而“高抑郁倾向”与“抑郁症”之间存在着质和量的区别。因此，在将本文发现推广至临床抑郁症患者中时需要谨慎，下一步亟需在已确诊的患者中开展相关研究。

5 结论

本研究表明，采用 tDCS 激活 RVLPFC 可提高情绪调节能力(采用认知重评策略)，减低负性情绪体验强度。一方面，此 tDCS 效应仅存在于低抑郁水平被试中，高抑郁水平被试的情绪调节能力改善并不明显。另一方面，tDCS 激活 RVLPFC 脑区对提高社会情绪调节能力具有一定的特异性，即被试在社会排斥情境下的情绪改善较个体负性情境下的情绪改善更明显。我们希望上述结论能为进一步研究 RVLPFC 的情绪调节功能以及基于此进行的抑郁症患者治疗提供有价值的理论和临床实践帮助。

参考文献

Amstadter, A. (2008). Emotion regulation and anxiety disorders. *Journal of Anxiety Disorders*, *22*(2), 211–221.

Aparício, L. V. M., Guarienti, F., Razza, L. B., Carvalho, A. F., Fregni, F., & Brunoni, A. R. (2016). A systematic review on the acceptability and tolerability of transcranial direct current stimulation treatment in neuropsychiatry trials. *Brain Stimulation, 9*(5), 671–681.

Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1995). The need to belong: desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. *Psychological Bulletin, 117*(3), 497–529.

Baumeister, R. F., DeWall, C. N., Ciarocco, N. J., & Twenge, J. M. (2005). Social exclusion impairs self-regulation. *Journal of Personality and Social Psychology, 88*(4), 589–604.

Beck, A. T., & Alford, B. A. (2009). Depression: Causes and Treatment (2nd Edition). Philadelphia, Pennsylvania: University of Pennsylvania Press, Inc.

Beck, A. T., & Bredemeier, K. (2016). A unified model of depression: Integrating clinical, cognitive, biological, and evolutionary perspectives. *Clinical Psychological Science 4*, 596–619.

Beck, A. T., Steer, R. A. & Brown, G. K. (1996). *Beck Depression Inventory-Second Edition Manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

Buhle, J. T., Silvers, J. A., Wager, T. D., Lopez, R., Onyemekwu, C., Kober, H., Weber, J., & Ochsner, K. N. (2014). Cognitive reappraisal of emotion: a meta-analysis of human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex, 24*(11), 2981–2990.

Cai, Y., Li, S., Liu, J., Li, D., Feng, Z., Wang, Q., Chen, C, & Xue, G. (2016). The role of the frontal and Parietal cortex in proactive and reactive inhibitory control: a transcranial direct current stimulation study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 28*(1), 177–186.

Cisler, J. M., & Olatunji, B. O. (2012). Emotion regulation and anxiety disorders. *Current Psychiatry Reports, 14*(3), 182–187.

Cogiamanian, F., Vergari, M., Schiaffi, E., Marceglia, S., Ardolino, G., Barbieri, S., & Priori, A. (2011). Transcutaneous spinal cord direct current stimulation inhibits the lower limb nociceptive flexion reflex in human beings. *Pain, 152*(2), 370–375.

Cristofori, I., Moretti, L., Harquel, S., Posada, A., Deiana, G., Isnard, J., *Mau*guiere, F., & Sirigu, A. (2013). Theta signal as the neural signature of social exclusion. *Cerebral Cortex, 23*(10), 2437–2447.

Donofry, S. D., Roecklein, K. A., Wildes, J. E., Miller, M. A., & Erickson, K. I. (2016). Alterations in emotion generation and regulation neurocircuitry in depression and eating disorders: A comparative review of structural and functional neuroimaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 68*, 911–927.

Eisenberger, N. I., Lieberman, M. D., & Williams, K. D. (2003). Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science, 302*(5643), 290–292.

Elliott, R., Lythe, K., Lee, R., McKie, S., Juhasz, G., Thomas, E. J., Downey, D., Deakin, J. F., & Anderson, I. M. (2012). Reduced medial prefrontal responses to social interaction images in remitted depression. *Archives of General Psychiatry, 69*(1), 37–45.

Feeser, M., Prehn, K., Kazzer, P., Mungee, A., & Bajbouj, M. (2014). Transcranial direct current stimulation enhances cognitive control during emotion regulation. *Brain Stimulation, 7*(1), 105–112.

Filmer, H. L., Dux, P. E., & Mattingley, J. B. (2014). Applications of transcranial direct current stimulation for understanding brain function. *Trends in Neuroscience, 37*(12), 742–753.

Hammen, C. (2005). Stress and depression. *Annual Review of Clinical Psychology, 1*, 293–319.

He, Z., Lin, Y., Xia, L, Liu, Z, Zhang, D, & Elliott, R. (2018). Critical role of the right VLPFC in emotional regulation of social exclusion: a tDCS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 13*(4), 357–366.

Henriques, J. B., & Davidson, R. J. (2000). Decreased responsiveness to reward in depression. *Cognition & Emotion, 14*(5), 711–724.

Horvath, J. C., Forte, J. D., Carter, O. (2015). Quantitative review finds no evidence of cognitive effects in healthy populations from single-session transcranial direct current stimulation (tDCS). *Brain Stimulation, 8*(3), 535–550.

Koenigs, M., Ukueberuwa, D., Campion, P., Grafman, J., & Wassermann, E. (2009). Bilateral frontal transcranial

direct current stimulation: Failure to replicate classic findings in healthy subjects. *Clinical Neurophysiology, 120*(1), 80–84.

Kohn, N., Eickhoff, S. B., Scheller, M., Laird, A. R., Fox, P. T., & Habel, U. (2014). Neural network of cognitive emotion regulation—an ALE meta-analysis and MACM analysis. *Neuroimage, 87*, 345–355.

Kross, E., Egner, T., Ochsner, K., Hirsch, J., & Downey, G. (2007). Neural dynamics of rejection sensitivity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 19*(6), 945–956.

Kupferberg, A., Bicks, L., & Hasler, G. (2016). Social functioning in major depressive disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 69*, 313–332.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1995). *The International Affective Picture System (IAPS).* University of Florida, Center for Research in Psychophysiology: Gainesville.

MacDonald, G., Kingsury, R., & Shaw, S. (2005). Adding insult to injury: social pain theory and response to social exclusion. In Williams, K. D. (Eds.), *The Social Outcast: Ostracism, Social Exclusion, Rejection, & Bullying*. New York: Psychology Press, 77–90.

MacDonald, G., & Leary, M. R. (2005). Why does social exclusion hurt? The relationship between social and physical pain. *Psychological Bulletin, 131*(2), 202–223.

Masten, C. L., Eisenberger, N. I., Borofsky, L. A., Pfeifer, J. H., McNealy, K., Mazziotta, J. C., & Dapretto, M. (2009). Neural correlates of social exclusion during adolescence: understanding the distress of peer rejection. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 4*(2), 143–157.

Mazefsky, C. A., Herrington, J., Siegel, M., Scarpa, A., Maddox, B. B., Scahill, L., & White, S. W. (2013). The Role of Emotion Regulation in Autism Spectrum Disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 52*(7), 679–688.

Meron, D., Hedger, N., Garner, M., & Baldwin, D. S. (2015). Transcranial direct current stimulation (tDCS) in the treatment of depression: Systematic review and meta-analysis of efficacy and tolerability. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 57*, 46–62.

Miranda, P. C., Lomarev, M., & Hallett, M. (2006). Modeling the current distribution during transcranial direct current stimulation. *Clinical Neurophysiology, 117*(7), 1623–1629.

Onoda, K., Okamoto, Y., Nakashima, K., Nittono, H., Yoshimura, S., Yamawaki, S., Yamaguchi, S., & Ura, M. (2010). Does low self-esteem enhance social pain? The relationship between trait self-esteem and anterior cingulate cortex activation induced by ostracism. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 5*(4), 385–391.

Pitskel, N. B., Bolling, D. Z., Kaiser, M. D., Pelphrey, K. A., & Crowley, M. J. (2014). Neural systems for cognitive reappraisal in children and adolescents with autism spectrum disorder. *Developmental Cognitive Neuroscience, 10*, 117–128.

Riva, P., Romero Lauro, L. J., DeWall, C. N., & Bushman, B. J. (2012). Buffer the pain away stimulating the right ventrolateral prefrontal cortex reduces pain following social exclusion. *Psychological Science, 23*(12), 1473–1475.

Riva, P., Romero Lauro, L. J., Vergallito, A., DeWall, C. N., & Bushman, B. J. (2015a). Electrified emotions: modulatory effects of transcranial direct stimulation on negative emotional reactions to social exclus*ion. Social Neuroscience, 10*(1), 46–54.

Riva, P., Romero Lauro, L. J., DeWall, C. N., Chester, D. S., & Bushman, B. J. (2015b). Reducing aggressive responses to social exclusion using transcranial direct current stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 10*(3), 352–356.

Riva P., & Eck, J. (2016). *Social Exclusion: Psychological Approaches to Understanding and Reducing Its Impact.* New York: Springer.

Riva, P., Wirth, J., & Williams, K. D. (2011). The consequences of pain: The social and physical pain overlap on

psychological responses. *European Journal of Social Psychology, 41*, 681–687.
Rive, M. M., van Rooijen, G., Veltman, D. J., Phillips, M. L., Schene, A. H., & Ruhe, H. G. (2013). Neural correlates of dysfunctional emotion regulation in major depressive disorder. A systematic review of neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 37*(10), 2529–2553.
Samson, A. C., Phillips, J. M., Parker, K. J., Shah, S., Gross, J. J., & Hardan, A. Y. (2014). Emotion dysregulation and the core features of autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 44*(7), 1766–1772.
Scarpa, A., & Reyes, N. M. (2011). Improving emotion regulation with CBT in young children with high functioning autism spectrum disorders: a pilot study. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy, 39*(4), 495–500.
Sellaro, R., Nitsche, M. A., & Colzato, L.S. (2016). The stimulated social brain: effects of transcranial direct current stimulation on social cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1369*(1), 218–239.
Somerville, L. H., Heatherton, T. F., & Kelley, W. M. (2006) Anterior cingulate cortex responds differentially to expectancy violation and social rejection. *Nature Neuroscience, 9*(8), 1007–1008.
Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R. E., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
Williams, K. D. (2007). Ostracism. *Annual Review of Psychology, 58*, 425–452.
Yanagisawa, K., Masui, K., Furutani, K., Nomura, M., Ura, M., & Yoshida, H. (2011). Does higher general trust serve as a psychosocial buffer against social pain? An NIRS study of social exclusion. *Social Neuroscience, 6*(2), 190–197.
Zilverstand, A., Parvaz, M. A., & Goldstein, R. Z. (2017). Neuroimaging cognitive reappraisal in clinical populations to define neural targets for enhancing emotion regulation. A systematic review. *Neuroimage, 151*, 105–116.
Zung, W. W., Richards, C. B., & Short, M. J. (1965). Self-rating depression scale in an outpatient clinic. Further validation of the SDS. *Archives of General Psychiatry, 13*(6), 508–515.
Bai, L., Ma, H., Huang, Y. X., & Luo, Y. J. (2005). The development of Native Chinese Affective Picture System. *Chinese Mental Health Journal, 19*(11), 719–722.
[白露, 马慧, 黄宇霞, 罗跃嘉. (2005). 中国情绪图片系统的编制. *中国心理卫生杂志, 19*(11): 719–722.]

The role of right ventrolateral prefrontal cortex on social emotional regulation in subclinical depression: An tDCS study

ZHANG Dandan[1,2,3]; LIU Zhenli[1]; CHEN Yu[1]; MAI Xiaoqin[2,3]
([1] College of Psychology and Sociology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)
([2] Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing 100872, China)
([3] Laboratory of the Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract

So far as we know, three studies demonstrated that that the right ventrolateral prefrontal cortex (RVLPFC) plays an important role in down-regulating the emotional response to social

exclusion. In a previous study, we explored the causal relationship between transcranial direct current stimulation (tDCS) and dominant emotional regulation in the context of social exclusion. Depression is an disorder that shows deficits of social functions. Compared with healthy controls, depressive individuals enjoy less in social interaction and the activation of the lateral prefrontal lobe of depressive subjects usually reduces. The current study aimed to explore whether the anodal tDCS targeting at RVLPFC could also improve the emotional regulation of social exclusion in subjects with high depressive levels. Furthermore, this study added individual negative images as a baseline to test the specificity of the RVLPFC on emotional regulation of social exclusion.

Before the experiment, we classified the participants with a Beck Depression Inventory score of < 3 as low depressive tendency group and those with a score of ≥ 18 as high depression tendency group. Participants also completed a Self-Rating Depression Scale (SDS) on the day of the tDCS experiment. Finally, a total of ninety-eight participants were included. They were randomly divided into anodal tDCS group (including 25 high depressive and 25 low depressive subjects) and sham tDCS group. All participants viewed social exclusion images and individual negative images separately in two blocks. In the no-reappraisal condition, participants were instructed to passively view images; in the reappraisal condition, they reappraised images so to down-regulate the negative emotional responses. Ratings of negative emotion experience were provided at the end of each trial.

There was a significant three-way interaction of group, tDCS type, and task. Simple simple effect analysis showed that in the reappraisal condition, anodal tDCS over the RVLPFC resulted in a decreased negative emotion rating in subjects with low-depressive levels, while this task effect (i.e., emotional regulation) was not significant in subjects with high-depressive levels. Another three-way interaction was found among image type, tDCS type, and task: when participants were presented with social exclusion images, in the reappraisal condition, anodal tDCS over the RVLPFC resulted in a decreased negative emotion rating in the emotional regulation condition; however this task effect was less significant when participants were presented with individual negative images. Besides the two three-way interactions, this study also observed significant main effects of task, group, and tDCS type, as well as two-way interactions of group and task, tDCS type and task, image type and task, and group and tDCS type.

The current findings indicate that the improvement of emotion regulation via tDCS targeting at RVLPFC may be invalid for depressive patients if only one session of tDCS is performed; thus multiple sessions are highly suggested for clinical practice. Furthermore, this is the first tDCS study that compared the RVLFPC role of emotional regulation of social versus individual based negative experiences. The result provides evidence of direct causal relationship between RVLPFC and emotional regulation in the context of social exclusion, highlighting the functional specificity of this brain region on emotional regulation.

Key words: depression tendency; transcranial direct current stimulation; right ventrolateral prefrontal cortex; social exclusion; negative emotion